

doi: 10.7541/2020.019

绥芬河大麻哈鱼个体生物学研究

王继隆^{1,2} 刘伟¹ 王维坤³ 李培伦¹ 杨文波^{2,4}

(1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150070; 2. 中国水产科学研究院农业农村部渔业遥感科学观测实验站, 北京 100141; 3. 黑龙江省东宁市鲑鱼孵化放流站, 东宁 157200; 4. 中国水产科学研究院资源与环境研究中心, 北京 100141)

摘要: 研究以2012至2017年在绥芬河东宁段采集的447尾大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta* Walbaum)为材料, 对其年龄与生长及繁殖特性等个体生物学特征进行研究分析。结果表明: 绥芬河大麻哈鱼种群由1⁺—5⁺龄5个年龄组构成, 其中雌性个体以3⁺龄为主, 雄性个体以2⁺龄为主。大麻哈鱼雌、雄个体的体长-体重关系分别为: $W=0.0082 \times L^{3.0604}$; $W=0.0076 \times L^{3.0746}$, 均属匀速生长类型; 采用Von Bertalanffy生长方程拟合得到3⁺龄大麻哈鱼雌、雄个体的叉长生长方程分别为: $L_{t,F}=141.64 \times e^{-0.11 \cdot (t+1.55)}$; $L_{t,M}=119.51 \times e^{-0.13 \cdot (t+1.45)}$ 。利用逻辑斯蒂方程估算大麻哈鱼雌、雄个体初次性成熟叉长(L_{50})分别为51.53和42.15 cm。ARSS分析显示雌、雄个体的 L_{50} 差异显著; 大麻哈鱼的绝对繁殖力(F)、相对叉长繁殖力(F_L)和相对体重繁殖力(F_W)分别为3412粒、52.42粒/cm和1.17粒/g; F 与叉长、体重、性腺重呈显著正相关关系, GSI 与叉长、体重、 F 成显著负相关关系; F 与叉长、体重的幂函数关系方程式分别为: $F=0.0311 \times L^{2.7745}$ ($R^2=0.638$)和 $F=1.946 \times W^{0.9374}$ ($R^2=0.704$)。本研究为绥芬河大麻哈鱼资源保护工作提供基础资料。

关键词: 绥芬河; 大麻哈鱼; 个体生物学; 体长-体重; 叉长; 繁殖力

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)01-0162-08

大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta* Walbaum)是典型的溯河洄游性鱼类, 其广泛分布于北太平洋及沿岸国家的淡水河流中。绥芬河大麻哈鱼是我国主要的四个大麻哈鱼地理种群之一^[1], 具有重要的经济和科学价值。近几十年来, 由于过度捕捞、栖息地破坏等人为因素的影响, 大麻哈鱼资源衰退严重^[2]。为了保护 and 恢复大麻哈鱼资源, 自20世纪80年代在绥芬河水域开展大麻哈鱼增殖放流工作^[3], 目前绥芬河大麻哈鱼维持在一定的种群数量。作为一种典型洄游性鱼类及海洋放牧鱼类, 大麻哈鱼的研究工作一直备受关注。国外学者对大麻哈鱼的研究较为深入, 有关大麻哈鱼资源量变动、繁殖活动及海、淡水中的生长情况等都有相应报道^[4-6], 近年来国内学者在大麻哈洄游群体数量结构与生物学

方面开展了一些研究^[7-10], 但是主要针对黑龙江、乌苏里江大麻哈鱼地理种群。董崇智等^[3,11,12]学者曾经对绥芬河水域大麻哈鱼生物学特征开展过相关研究, 但是近十几年对该种群的研究未再见到报道。

生物学特征的研究是了解鱼类生长情况、种群动态和资源变化的基础, 为渔业资源管理提供数据资料和科学依据。目前绥芬河大麻哈鱼正面临过度捕捞、环境变化等负面因素以及增殖放流工作带来的多重因素的综合影响。大麻哈鱼种群在长期的生存压力之下, 其生物学指标等表型特征是否会发生变化, 值得我们关注。鉴于此, 本文基于2012—2017年在绥芬河水域开展大麻哈鱼回归群体的调查监测, 对其年龄、生长、繁殖生物学等个体生物学特征进行研究分

收稿日期: 2019-01-23; **修订日期:** 2019-08-14

基金项目: 中国水产科学研究院农业农村部渔业遥感科学观测实验站开放课题(OFSOESFRS201504); 农业农村部财政专项(2130135)资助 [Supported by the Open Project of Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Remote Sensing of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chinese Academy of Fishery Science (OFSOESFRS201504); Special Financial Funds of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (2130135)]

作者简介: 王继隆(1984—), 男, 山东济宁人; 硕士, 助理研究员; 主要从事渔业资源调查与评估方面工作。E-mail: wjl0321225@163.com

通信作者: 杨文波(1978—), E-mail: wbyang@cafs.ac.cn

析, 以期为绥芬河大麻哈鱼的增殖、保护工作提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样本采集

本研究中大麻哈鱼样本于2012至2017年每年9—11月采捕于绥芬河东宁段(图1), 采捕方式为定置刺网(网目大小10 cm)。对捕获的大麻哈鱼进行现场测量叉长、称量体质量、取鳞片, 采集样本低温保存带回实验室进一步分析, 本研究共采集到大麻哈鱼样本447尾。

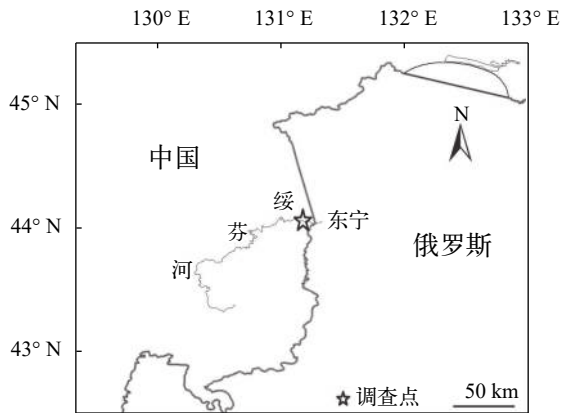


图1 调查站点图

Fig. 1 The map of the investigating station

1.2 材料处理及数据分析

采用鳞片进行年龄鉴定, 鳞片前处理、年龄鉴定及鳞径测量方法参照王继隆等^[9]的方法。大麻哈鱼的叉长退算公式如下:

$$L_t = l_c + \frac{S_t - S_c}{S_c - S_b} \times (L_c - L_b)$$

式中, L_c 和 S_c 为大麻哈鱼捕获时的叉长和鳞片鳞径, L_b 和 S_b 为鳞片形成时的叉长和鳞径, L_t 和 S_t 为 t 龄时叉长和鳞径。根据以往研究结果^[13], 式中 $L_b=4$ cm; $S_b=0.114$ cm。

参考王继隆等^[9]研究结果, 采用Von Bertalanffy生长方程(VBGF)拟合大麻哈鱼的叉长生长, 公式如下:

$$L_t = L_\infty \times \left[1 - e^{-k(t-t_0)} \right]$$

式中, L_∞ 、 k 、 t_0 为生长方程参数, L_∞ 为渐近叉长, k 为生长曲线的平均速率, t_0 为假设的理论生长起点年龄。生长模型的参数采用最大似然法估计。

采用残差平方和(ARSS)方法分析判断雌、雄个体叉长生长差异的显著性^[14]。

采用叉长生长特征指数来衡量大麻哈鱼的生

长速度, 计算公式如下:

$$\varphi = \lg(k) + 2\lg(L_\infty)$$

以2 cm为间距, 利用各叉长组的性成熟个体百分比拟合Logistic 曲线, 推算大麻哈鱼的初次性成熟叉长概率分布, 计算50%初次性成熟叉长(L_{50})。根据资料, 将大麻哈鱼最后一个年轮形成时期作为其性成熟的划分依据^[15]。

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-(a+bL_i)}}$$

式中, P_i 为成熟个体占组内样本的百分比; L_i 为各叉长组(cm)。初次性成熟叉长为: $L_{50} = -a/b$ 。

由于大麻哈鱼溯河洄游期间停食空胃, 性腺成熟指数(Gonad somatic index, GSI)计算公式中分母采用体质量(W)。公式如下:

$$GSI = \frac{G}{W} \times 100$$

式中, G 为性腺重, W 为体质量。

绝对繁殖力 F (粒)=样品卵粒数/样品重量×性腺重; 叉长(L)相对繁殖力(粒/cm) $F_L = F/L$; 体重相对繁殖力(粒/g) $F_W = F/W$ 。

2 结果

2.1 体长、体重与年龄组成

对447尾大麻哈鱼样本进行生物学分析(表1), 雌性大麻哈鱼叉长为: 49.2—79.9 cm, 平均为64.7 cm, 65—67 cm为优势叉长组; 体重为: 1250.1—5499.8 g, 平均为2943.9 g。雄性大麻哈鱼叉长为: 43.5—78.2 cm,

表1 绥芬河大麻哈鱼的实测叉长与退算叉长

Tab. 1 Actual fork length and back-calculated fork length of chum salmon from the Suifen River

性别 Sex		L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_c	n
雌性 Female	1 ⁺		37.38					50.10	1
	2 ⁺	20.02	35.64	48.35				59.61	43
	3 ⁺	19.99	34.38	46.09	55.11			64.71	151
	4 ⁺	20.21	32.61	44.34	52.03	60.07		68.28	45
	5 ⁺	18.85	31.89	42.06	48.82	56.58	64.07	70.26	9
雄性 Male	1 ⁺	18.56	34.54					48.61	45
	2 ⁺	19.53	34.08	45.03				53.83	92
	3 ⁺	19.76	32.32	43.43	51.79			60.58	50
	4 ⁺	18.17	31.48	43.02	51.07	59.35		68.12	9
	5 ⁺		39.11	46.18	50.68	57.84	63.56	71.60	2

注: L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 为各年龄段的叉长, L_c 为大麻哈鱼捕获时的叉长, L_0 为大麻哈鱼向外海迁移的叉长

Note: L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5 stand for the fork length at the age i (1—5) respectively, L_c stands for the fork length of chum salmon when it was captured, L_0 stands for the fork length of chum salmon when it entranced into the Okhotsk Sea

平均为55.5 cm, 52—54 cm为优势叉长组; 体重为: 801.5—5348.9 g, 平均为1857.3 g。雌、雄大麻哈鱼样本年龄组均分为1⁺—5⁺龄五个年龄组。其中雌性个体以3⁺龄为主, 占总样本总数的60.64%, 其次为4⁺和2⁺龄, 1⁺龄数量最少, 平均年龄为4.07龄; 雄性个体以2⁺龄个体为主, 占总数的46.46%, 其次为3⁺和1⁺龄, 5⁺龄数量最少, 平均年龄为3.15龄。可见, 雌性个体叉长、体重、年龄均比雄性个体大。

2.2 生长

大麻哈鱼雌、雄个体的体长-体重关系式分别为: $W=0.0082 \times L^{3.0604}$; $W=0.0076 \times L^{3.0746}$ (W 为体重, g; L 为叉长, cm)。 t 检验表明两关系式中的参数 b 均与3无显著差异 [$t_{\text{雌}} = 0.45 < t(0.05, 244)$; $t_{\text{雄}} = 1.03 < t(0.05, 194)$], 表明大麻哈鱼的生长属于匀速生长, 可采用VBGF进行生长模拟, 生长方程参数见表2。以3⁺龄大麻哈鱼为例, 采用ARSS分析雌、雄大麻哈鱼VBGF生长的差异, 结果表明绥芬河3⁺龄大麻哈鱼雌、雄个体间生长差异显著 ($F = 13.91 > F_{0.01, 2, 5}$), 故将雌、雄大麻哈鱼的叉长生长分别进行分析。

由表2可见, 大麻哈鱼叉长生长指标随着年龄的增加而递减, 即年龄越大生长速度越慢。大麻哈鱼2⁺龄组雌、雄性个体的生长速度相同, 3⁺龄组雌性个体生长速度高于雄性个体。为分析大麻哈鱼各年龄段的生长情况, 分析叉长的生长速度。以3⁺龄组雌、雄大麻哈鱼为例, 在叉长生长方程的基础上分别对时间 t 求一阶导数, 即得到相应的生长速度方程:

$$\text{雌性: } dL/dt = 15.58 \times e^{-0.11 \cdot (t+1.55)};$$

$$\text{雄性: } dL/dt = 15.42 \times e^{-0.13 \cdot (t+1.45)}$$

根据生长方程绘制了大麻哈鱼叉长生长及生长速度曲线(图2), 可见, 大麻哈鱼雌性个体的生长速度快于雄性个体, 雌、雄个体叉长生长速度随年龄的增长均呈递减趋势。

2.3 繁殖生物学

50%初次性成熟叉长(L_{50}) 根据logistic方

表2 不同年龄组大麻哈鱼的生长

Tab. 2 Growth of chum salmon from different age groups

性别 Sex	年龄组 Annuli group	L_{∞}	K	T_0	生长指标Growth characteristic index
雌性 Female	2 ⁺	147.33	0.12	-1.29	3.42
	3 ⁺	141.64	0.11	-1.55	3.34
	4 ⁺	126.91	0.12	-1.60	3.27
	5 ⁺	145.49	0.082	-2.07	3.24
雄性 Male	2 ⁺	59.54	0.74	-0.09 0	3.42
	3 ⁺	119.51	0.13	-1.45	3.27

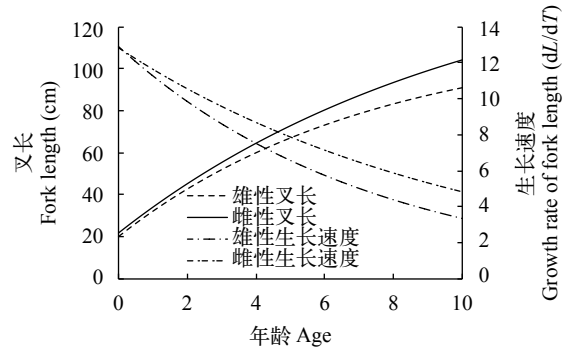


图2 大麻哈鱼的叉长生长曲线和生长速度曲线

Fig. 2 The growth curve and the growth rate curve of fork length of chum salmon

程计算绥芬河大麻哈鱼雌、雄个体的 L_{50} 分别为51.53和42.15 cm, 对应的年龄分别为2.60和1.91龄(图3)。ARSS分析表明雌、雄个体间的性成熟概率差异极显著 ($F = 49.43 > F_{(0.01, 25, 27)}$), 雄性个体的性成熟期明显早于雌性。

GSI和绝对繁殖力 用于测定繁殖力的大麻哈鱼样本为142尾, 叉长为: 49.2—79.9 cm, 平均叉长为65.0 cm, 体重为: 1250.1—5498.5 g, 平均体重2966.2 g, 年龄范围为1⁺—5⁺龄, 其中3⁺、4⁺龄组样本较多。表3可见, 3⁺龄组的繁殖贡献最大, 怀卵量比例达到52.77%, 其次为4⁺龄组, 占30.82%。

图4可见, 大麻哈鱼个体绝对繁殖力(F)分布在857—4535粒, 平均为3412粒, 其中主要分布在3800—4300粒, 个体绝对繁殖力随年龄的增长而增加。叉长相对繁殖力(F_L)分布在15—70 eggs/cm, 平均为52.42 eggs/cm, 其中主要分布在55—65 eggs/cm; 体重相对繁殖力(F_W)分布在0.5—1.8 eggs/g, 平均为1.17 eggs/g, 其中主要分布在1—1.5 eggs/g。可见大麻哈鱼 F 与 F_W 分布较集中, 而与 F_L 分布比较分散。

相关分析表明, F 与叉长、体重、性腺重成显著正相关关系; GSI 与叉长、体重、 F 成显著负相关关系, 其中 F 和叉长相关关系系数最大; F_W 与 GSI 、 F 和 F_L 成正相关关系。本文采用线性函数和幂指数函数拟合大麻哈鱼 F 与叉长、体重的关系, 结果显示幂指数函数效果更好, 所得幂指数方程为: $F = 0.0311 \times L^{2.7745}$ ($R^2 = 0.638$); $F = 1.946 \times W^{0.9374}$ ($R^2 = 0.704$)。

3 讨论

3.1 绥芬河大麻哈鱼的生长特征

2012—2017年绥芬河大麻哈鱼的雌、雄性个体平均叉长、体重分别为64.7 cm、2943.9 g和55.5 cm、1857.3 g。雌、雄大麻哈鱼样本年龄组均分为1⁺—5⁺龄。雌性个体以3⁺龄为最多, 占总数的

60.64%; 雄性个体以2⁺龄为主, 占46.46%。董崇智等^[12]1986年调查绥芬河大麻哈鱼的平均叉长、体重为70.2 cm、4150 g, 雌性个体年龄组为3⁺和4⁺龄, 其中3⁺龄占72.3%, 雄性个体年龄组为2⁺—4⁺龄, 其中3⁺龄占62.5%。可见绥芬河大麻哈鱼的叉长、体重、年龄和20世纪80年代相比均呈减小趋势。相似的现象在乌苏里江大麻哈鱼种群中也有发现^[8, 16]。本研究中大麻哈鱼的年龄范围较1986年调查结果有所扩大。主要因为本研究采用六年的调查数据进行分析, 样本收集时间长, 故样本年龄组范围较广。本调查发现1⁺龄组的低龄大麻哈鱼占总样本的10.3%, 以往仅见于董崇智等^[11]1990年的调查研究中, 但其比例较小(占1.7%)。可见, 性成熟年龄低龄化、规格小型化是目前绥芬河大麻哈鱼生物学特征变化的集中体现。大麻哈鱼性成熟年龄除遗传因素外还与海洋环境条件有关^[6]。在优越的环境

条件(生物与非生物)下大麻哈鱼生长速度快, 性成熟年龄提前^[6]。然而海洋环境条件的变化具有一定周期性, 几十年来绥芬河大麻哈鱼性成熟年龄的降低主要原因应是渔业捕捞的选择性。长期的渔业捕捞使得大规格个体死亡率高、小规格个体种群延续率增加是导致大麻哈鱼小型化的一个重要因素^[8]。

绥芬河大麻哈鱼的叉长生长速度与性成熟年龄成反比, 性成熟年龄越小生长指标较大, 这种现象在乌苏里江大麻哈鱼种群中也有相似的发现^[2, 16], 这也与Morita等^[6]的研究结果一致。绥芬河大麻哈鱼雌、雄个体的 L_{50} 分别为51.53和42.15 cm, 而王继隆等^[10]计算2010—2011年乌苏里江雌、雄大麻哈鱼 L_{50} 分别为: 47.95和46.19 cm。在本研究中绥芬河雌性大麻哈鱼 L_{50} 大于乌苏里江个体, 雄性 L_{50} 则小于乌苏里江个体。鱼类性成熟的时间受遗传因素

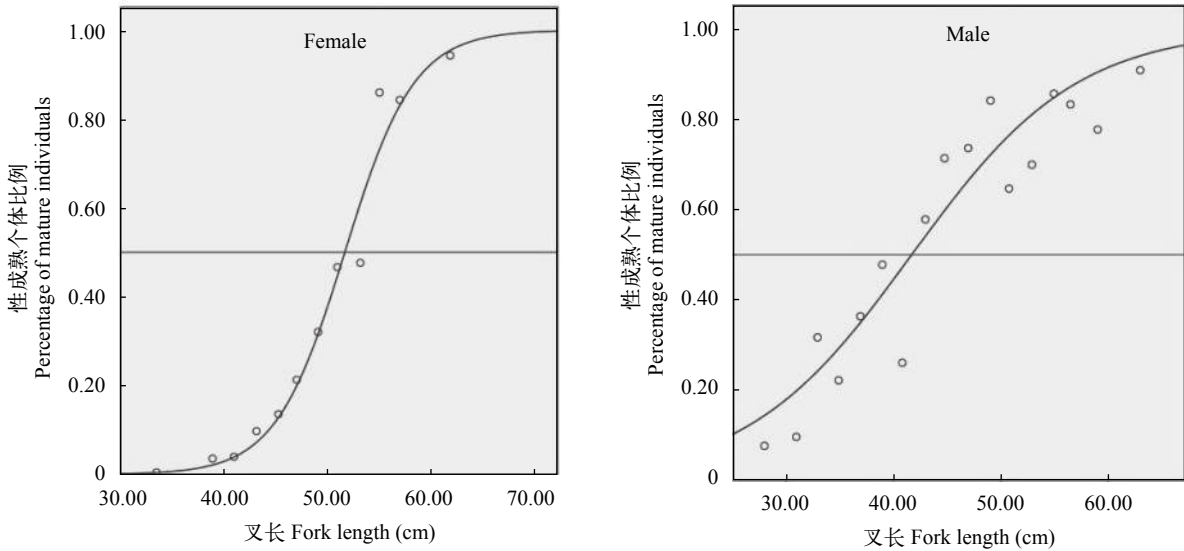


图3 大麻哈鱼雌雄性成熟个体在各体长组所占比例的逻辑斯蒂方程拟合

Fig. 3 Logistic functions fitted to percent mature of female and male individuals of chum salmon

表3 大麻哈鱼繁殖生物学指标

Tab. 3 Reproductive biological indicators of chum salmon

指标	年龄组Annuli group				
	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺	4 ⁺	5 ⁺
样本数Sample number	1	23	72	39	7
叉长Fork length (cm)	50.1	59.1±3.9	64.9±4.3	68.1±4.1	70.2±4.5
体重Body weight (g)	1250.2	2115.2±441.0	2945.7±560.6	3437.4±711.0	3592.9±593.7
卵巢重Eggs weight (g)	169.6	260.7±43.7	473.7±90.2	563.9±116.0	588.2±68.9
性腺成熟指数GSI (%)	13.6	12.5±1.4	16.1±1.9	16.4±1.4	16.5±0.8
个体绝对繁殖力Individual absolute fecundity (eggs)	1390	2192±385	3351±600	3967±601	3770±346
叉长相对繁殖力Relative fecundity of fork length (eggs/cm)	27.75888224	36.9±4.7	54.5±8.1	58.1±7.0	53.7±2.9
体重相对繁殖力Relative fecundity of body weight (eggs/g)	1.112576	1.1±0.1	1.2±0.2	1.2±0.2	1.1±0.1
比例Ratio (%)	0.29	10.41	52.77	30.82	5.71

和生态环境因子的影响, Morita等^[6]研究发现大麻哈鱼的生长状况决定了其性成熟的时间。可见, 大麻哈鱼不同地理种群、不同年代间的生长环境导致其生长速度、性成熟年龄的差异。

3.2 绥芬河大麻哈鱼的繁殖生物学特征

鱼类繁殖力体现鱼类群体间及种间的特性, 是鱼类对周围环境的适应性表现。2012—2017年绥芬河大麻哈鱼平均怀卵量为3412粒, 与董崇智等^[12]1986年调查结果相比, 平均怀卵量下降近20%。大麻哈鱼绝对繁殖力(F)与年龄、叉长、体重都成正相关关系, 可见, 绥芬河大麻哈鱼个体绝对繁殖力的下降主要是由个体低龄化、小型化所导致, 这种现象在大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)等鱼类研究中有相似报道^[17, 18]。和其他鲑科鱼类相比(表4), 大麻哈鱼的绝对繁殖力高于细鳞鲑^[19]、马苏大麻哈鱼^[21, 22]、驼背大麻哈鱼^[11]、亚东鲑^[25]、花羔红点鲑^[26], 低于乌苏里白鲑^[23]、高白鲑^[24]、哲罗鲑^[20]。体重相对繁殖力是鱼类长期自然选择的结果, 体现了鱼类的繁殖策略, 它是判定鱼类繁殖力大小和鱼类种属和生态特异性的指标^[27, 28]。一般来说, 怀卵量高的鱼类, 鱼卵成活率低, 而怀卵量低的鱼类往往成活率高, 鱼类通过各自策略来维持物种的稳定^[29], 大麻哈鱼的 F_W 和马苏大麻哈鱼、哲罗鲑、细鳞鲑接近,

可见这几种鱼类的繁殖策略相似, 体现了该类鱼卵卵粒大, 怀卵量相对少, 鱼卵成活率高的特点。但是和乌苏里白鲑、高白鲑相比大麻哈鱼 F_W 低很多, 表明鲑科鱼类间具有不同的繁殖策略, 体现了物种间繁殖策略的多样性。

不同鱼类间的繁殖力与生物学指标的拟合关系不同, 相关关系也存在差异。在本研究中大麻哈鱼 F 与叉长、体重、性腺重成显著正相关关系, 采用幂函数拟合了 F 与叉长、体重的关系。这与翘嘴鲌、黑斑刺盖太阳鱼和银鲈等鱼类^[30—32]的研究结果相似。绥芬河大麻哈鱼 GSI 与叉长、体重、 F 成显著负相关关系, 与乌苏里江大麻哈鱼的研究结果一致^[10]。 F_W 与 GSI 、 F 和 F_L 成显著正相关关系, 这在翘嘴鲌、乌苏里白鲑等鱼类的研究中有类似的发现, 但也存在一定的差异^[23, 32]。叉长、体重、 GSI 是衡量大麻哈鱼繁殖力的重要指标, 实际工作中可利用叉长、体重与繁殖力之间的关系来估算大麻哈鱼的种群繁殖力。

绥芬河大麻哈鱼群体中出现了低龄化、小型化、繁殖力下降等生物学特征的改变。尤其是低龄个体在群体中占有较高的比例, 导致大麻哈鱼的种群结构发生变化。虽然多年的增殖放流工作对维持绥芬河种群数量的稳定起到了重要作用, 但是大麻哈鱼生物学特征的变化也应引起足够的重

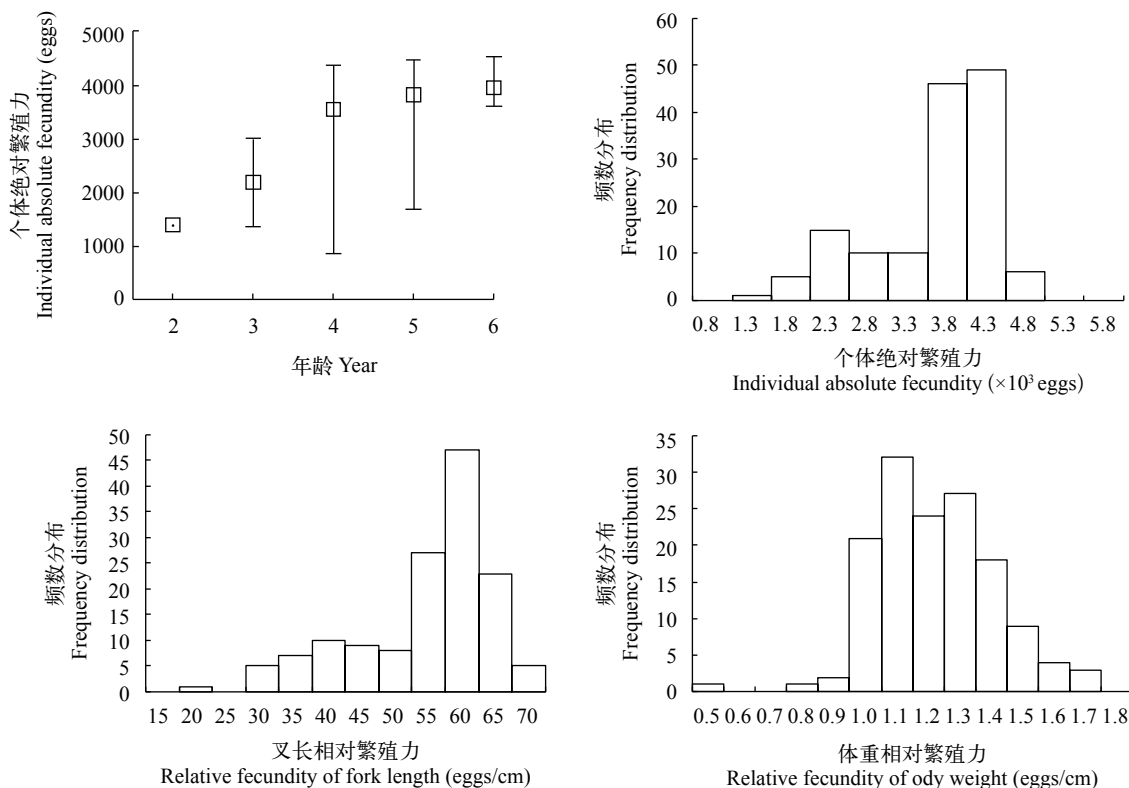


图4 大麻哈鱼个体繁殖力分布

Fig. 4 Distribution of individual fecundity for chum salmon

表 4 大麻哈鱼与其他几种鲑科鱼类繁殖力比较

Tab. 4 Comparison of fecundity among chum salmon and other species of the family Salmonidae

种类Species	绝对繁殖力/Absolute fecundity (F)	F_L (eggs/cm)	F_W (eggs/g)	资料来源Data source
细鳞鲑 <i>Brachymystax lenok</i>	2823		3.2	白庆利等 ^[19]
哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	4310—23527		1.13—1.37	尹家胜等 ^[20]
马苏大麻哈鱼洄游型 <i>Oncorhynchus masou</i>	3232		1.24	董崇智等 ^[21]
马苏大麻哈鱼陆封型 <i>Oncorhynchus masou</i>	1485		2.72	陈春山等 ^[22]
乌苏里白鲑 <i>Coregonus ussuriensis</i>	30270	622.5	34.62	李培伦等 ^[23]
高白鲑 <i>Coregonus peled</i>	133360		82	吐尔逊等 ^[24]
亚东鲑 <i>Salmo trutta fario</i> L.	946.35			豪富华等 ^[25]
驼背大麻哈鱼 <i>Oncorhynchus gorbusha</i>	1231			董崇智等 ^[11]
花羔红点鲑 <i>Velinus malma</i>	386			黄权等 ^[26]
大麻哈鱼 <i>Oncorhynchus keta</i>	3412	52.42	1.17	本研究

视。因此, 应长期对绥芬河大麻哈鱼生物学特征进行监测, 为大麻哈鱼种群资源保护与恢复以及群体多样性保护工作提供科学依据。

参考文献:

- [1] Chen J P, Sun D J, Dong C Z, *et al.* Genetic analysis of four wild chum salmon *Oncorhynchus keta* populations in China based on microsatellite markers [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2005, **73**(2): 181-188.
- [2] Zhao C G, Pan W Z, Chen J, *et al.* Investigation of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) breeding stock constitution in Wushuli River [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2004, **2**(18): 59-64. [赵春刚, 潘伟志, 陈军, 等. 2004 年乌苏里江大麻哈鱼生殖群体结构研究 [J]. 水产学杂志, 2004, **2**(18): 59-64.]
- [3] Dong C Z, Zhao C G, Jin Z L, *et al.* Test on artificial propagation and egg releasing of pin salmon in Suifen River [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 1994, **7**(2): 73-77. [董崇智, 赵春刚, 金贞礼, 等. 绥芬河大麻哈鱼人工繁殖与孵化放流 [J]. 水产学杂志, 1994, **7**(2): 73-77.]
- [4] Brian S B, David W W, John H H. A review of size trends among North Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, **53**(2): 455-465.
- [5] Morita K, Masa-aki F. Why age and size at maturity have changed in Pacific salmon [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2007 (335): 289-294.
- [6] Morita K, Fukuwaka M A. Does size matter most? The effect of growth history on probabilistic reaction norm for salmon maturation [J]. *Evolution*, 2006, **7**(60): 1516-1521.
- [7] Han Y, Wang Y S, Fan Z T, *et al.* A survey on the resources of chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) in Heilongjiang Waters [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2002, **15**(1): 24-34. [韩英, 王云山, 范兆廷, 等. 黑龙江流域大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta* Walbaum)资源现状研究 [J]. 水产学杂志, 2002, **15**(1): 24-34.]
- [8] Wang J L, Liu W, Tang F J, *et al.* Characteristics and analysis of colony structure of breeding migratory salmon in autumn Wusuli River [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2011(21): 120-123. [王继隆, 刘伟, 唐富江, 等. 乌苏里江秋大麻哈鱼生殖洄游群体结构特征与分析 [J]. 湖南农业科学, 2011(21): 120-123.]
- [9] Wang J L, Tang F J, Liu W, *et al.* Age and growth of Chum salmon [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, **36**(6): 1149-1155. [王继隆, 唐富江, 刘伟, 等. 大麻哈鱼的年龄与生长 [J]. 水生生物学报, 2012, **36**(6): 1149-1155.]
- [10] Wang J L, Liu W, Tang F J, *et al.* Analysis of biological traits of chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) in the Amur River, China [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, **20**(1): 93-100. [王继隆, 刘伟, 唐富江, 等. 黑龙江水系(中国)大麻哈鱼生物学特征分析 [J]. 中国水产科学, 2013, **20**(1): 93-100.]
- [11] Dong C Z, Zhang J M. Preliminary studies on the population ecological character of salmon in Suifenhe River [J]. *Marine Sciences*, 1993(3): 59-63. [董崇智, 张觉民. 绥芬河大麻哈鱼类种群生态的初步研究 [J]. 海洋科学, 1993(3): 59-63.]
- [12] Dong C Z, Li G G. A preliminary study on the population structures of salmonoids migration in Suifen River [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1989, **13**(2): 124-132. [董崇智, 李根钢. 绥芬河大麻哈鱼类溯河群体结构的初步研究 [J]. 水产学报, 1989, **13**(2): 124-132.]
- [13] Fukuwaka M A, Morita K. A back-calculation method for estimating individual growth of juvenile chum salmon by scale analysis [J]. *Hokkaido Salmon Hatch*, 1994(48): 1-9.
- [14] Chen Y, Jackson D A, Harvey H H. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in the modeling fish growth data [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1992, **49**(6): 1228-1235.
- [15] Silverstein J T, Shearer K D, Dickhoff W W. Effects of growth and fatness on sexual development of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) parr [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1998(55): 2376-2382.

- [16] Wang J L, Liu W, Tang F J, *et al.* Age composition and growth difference of chum salmon migrating to Ussuri River [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2013, **22**(1): 88-92. [王继隆, 刘伟, 唐富江, 等. 乌苏里江大麻哈鱼年龄结构及异龄组间生长差异 [J]. 上海海洋大学学报, 2013, **22**(1): 88-92.]
- [17] Kong X Y, Zhu J L. Study on individual fertility changes of yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) in Daijuyang Zhejiang province [J]. *Marine Fishery*, 1988(5): 198-203. [孔祥雨, 朱家立. 浙江岱巨洋大黄鱼个体生殖力变动的研究 [J]. 海洋渔业, 1988(5): 198-203.]
- [18] Mou X X, Zhang C, Zhang C L, *et al.* The fisheries biology of the spawning stock of *Scomberomorus niphonius* in the Bohai and Yellow Seas [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, **25**(6): 1308-1316. [牟秀霞, 张弛, 张崇良, 等. 黄渤海蓝点马鲛繁殖群体渔业生物学特征研究 [J]. 中国水产科学, 2018, **25**(6): 1308-1316.]
- [19] Bai Q L, Mou Z B, Yu H X, *et al.* The detection of the biological characters and productivity of *Brachymystax lenok* [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2007, **20**(1): 69-73. [白庆利, 牟振波, 于洪贤, 等. 野生细鳞鱼的生物学特性及繁殖力 [J]. 水产学杂志, 2007, **20**(1): 69-73.]
- [20] Yi J S, Xu W, Cao D C, *et al.* Age structure, sex ratio and growth of the Taimen (*Hucho taimen*) in Wusuli River [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2003, **49**(5): 687-692. [尹家胜, 徐伟, 曹顶臣, 等. 乌苏里江哲罗鲑的年龄结构、性比和生长 [J]. 动物学报, 2003, **49**(5): 687-692.]
- [21] Dong C Z, Zhao C G. Biology and reproduction of *Onco-rhynchus masou* (Brevoort) [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 1996, **9**(2): 47-53. [董崇智, 赵春刚. 马苏大麻哈鱼生物学及其增殖 [J]. 水产学杂志, 1996, **9**(2): 47-53.]
- [22] Chen C S, Zheng W, Hu Q J, *et al.* Artificial propagation comparison of landlocked masu salmon collected in the Tumen River in different regions in China [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2016, **29**(5): 17-21. [陈春山, 郑伟, 胡庆杰, 等. 图们江马苏大麻哈鱼陆封种群在不同地区的繁殖力比较 [J]. 水产学杂志, 2016, **29**(5): 17-21.]
- [23] Li P L, Liu W, Wang J L, *et al.* Fecundity of *Coregonus ussuriensis* in the Heilongjiang River, China [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, **22**(6): 1234-1242. [李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 黑龙江乌苏里白鲑的个体繁殖力 [J]. 中国水产科学, 2015, **22**(6): 1234-1242.]
- [24] Tu E X, Cai L G, Guo Y, *et al.* Study on the reproductive biology of coregonus peled in Sailimu lake [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, **17**(2): 26-31. [吐尔逊, 蔡林钢, 郭焱, 等. 赛里木湖高白鲑繁殖生物学特性研究 [J]. 水产学杂志, 2004, **17**(2): 26-31.]
- [25] Hao F H. Studies on the biology and genetic diversity of *Salmo trutta fario* L., from Yadong River, Tibet [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2006: 89-98. [豪富华. 亚东鲑的生物学和遗传多样性研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2006: 89-98.]
- [26] Huang Q, Sun Z H. Studies on age, growth, feeding habits and reproduction of the *Velinus malma* in the upper reaches of the Yalu River [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1998, **22**(1): 1-8. [黄权, 孙兆和. 鸭绿江上游花羔红点鲑的年龄、生长、食性和繁殖的研究 [J]. 水产学报, 1998, **22**(1): 1-8.]
- [27] Liu M, Xiong B X, Lv G J. Reliminary studies on reproduction biology of *Xenocypris microlepis* [J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, **3**(1): 76-81. [刘敏, 熊邦喜, 吕光俊. 细鳞鲴繁殖生物学初步研究 [J]. 水生态学杂志, 2010, **3**(1): 76-81.]
- [28] Xuan S P, Chen X J, Lin D M, *et al.* The effective fecundity in male *Illex argentinus* in southwest Atlantic Ocean [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(4): 800-810. [宣思鹏, 陈新军, 林东明, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼雄性个体的有效繁殖力特性研究 [J]. 水生生物学报, 2018, **42**(4): 800-810.]
- [29] Melo R M C, Ferreira C M, Luz R K, *et al.* Comparative oocyte morphology and fecundity of five characid species from São Francisco River basin [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2011, **27**(6): 1332-1336.
- [30] Baker S C, Heidinger R C. Individual and relative fecundity of black crappie (*Pomoxis nigromaculatus*) in bald win cooling pond [J]. *Transactions of the Illinois State Academy of Science*, 1994, **87**(3-4): 145-150.
- [31] Ekanem S B. Some reproductive aspects of *Chrysichthys nigrodigitatus* from Cross River, Nigeria [J]. *Naga: The World Fish Center Quarterly*, 2000(23): 24-28.
- [32] Qin L, Xiong B X, Lü G J. Individual fecundity of *Culter alburnus* in Xujiaye Reservoir of China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, **20**(8): 1952-1957. [覃亮, 熊邦喜, 吕光俊. 徐家河水库翘嘴鲌的个体生殖力 [J]. 应用生态学报, 2009, **20**(8): 1952-1957.]

INDIVIDUAL BIOLOGY OF CHUM SALMON FROM SUIFEN RIVER

WANG Ji-Long^{1,2}, LIU Wei¹, WANG Wei-Kun³, LI Pei-Lun¹ and YANG Wen-Bo^{2,4}

(1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Remote Sensing of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chinese Academy of Fishery Science, Beijing 100141, China; 3. Salmon Releasing Station of the City of Dongning, Dongning 157200, China; 4. Resources and Eco-environmental Research Center, Chinese Academy of Fishery Science, Beijing 100141, China)

Abstract: To study the individual biology of chum salmon, 447 samples were collected in Dongning section of the Suifen River from 2012 to 2017. The results showed that the age groups of samples were 1⁺—5⁺, of which 3⁺ and 2⁺ age are dominant for females and males respectively. The relationships between body weight and body length of male and female salmon were as follows: $W=0.0082 \times L^{3.0604}$; $W=0.0076 \times L^{3.0746}$, which were all belonged to the type of uniform growth. Von Bertalanffy growth function was used in simulating the fork length growth of chum salmon. The fork length growth equations of male and female chum salmon aged 3⁺ years were $L_{t,F}=141.64 \times e^{-0.11 \cdot (t+1.55)}$ and $L_{t,M}=119.51 \times e^{-0.13 \cdot (t+1.45)}$, respectively. The fork length growth rate of chum salmon was inversely proportional to the age of sexual maturity. The total fork length of 50% male and female individuals reaching sexual maturity (L_{50}) was estimated by logistic moderating function with 42.15 cm for male and 51.53 cm for female. ARSS analysis revealed a significant difference between male and female individuals for L_{50} . Results showed that the average of absolute fecundity (F) and relative fecundity (F_L and F_W) were 3412 eggs, 52.42 eggs/cm and 1.17 eggs/g respectively. The positive correlation between F and fork length, body weight, and gonad weight of female chum salmon was significant, while the significant positive correlation between GSI and fork length, body weight, F was found. The power exponential equation was used to simulate the relationships of F and fork length, body weight respectively, and the regression function as follow: $F=0.0311 \times L^{2.7745}$ ($R^2=0.638$); $F=1.946 \times W^{0.9374}$ ($R^2=0.704$). This study will provide basic information for the conservation of chum salmon.

Key words: Suifen River; Chum salmon; Individual biology; Body length-body weight; Fork length; Fecundity

“中国科学院水生生物研究所建所90周年纪念专刊”征稿函

2020年10月将迎来中国科学院水生生物研究所建所90周年!为进一步增进广大读者对水生生物学历史、现状和未来发展方向的了解,展示水生生物学最新研究进展,增进水生所与学界同仁的合作与交流,《水生生物学报》拟出版“中国科学院水生生物研究所建所90周年纪念专刊”。

专刊现面向历届所友、专家学者及科研人员征稿。征稿范围为水环境保护、渔业可持续发展和微藻生物能源利用等方面的最新研究论文或者综述;请登录学报官网 sswxb.ihb.ac.cn 在线投稿,投稿时请备注“所庆专刊”;来稿通过同行评议后拟定于44卷第5期正刊(2020年9月)刊发;征稿时间截至2020年3月31日。

欢迎大家踊跃投稿!